振動測定による構造物診断システム

説明書

2007 年 3 月

はじめに

「石橋を叩いて渡る」という諺があります。丈夫そうに見える石橋であっても、叩いて、振動の感触で安全を確かめ、慎重を期する形容として使います。この表現の裏には、二つの知識があります。一つは、石橋であっても振動すること、二つには、振動の具合で安全であることが経験的に分かることです。では、どの程度の振動の手応えであれば安全と判断できるかについて、具体的な目安を教えてはくれませんので、体験的に覚えます。ここで説明する「振動測定による構造物診断システム」(以降、単に診断システムと略記する)は、工学的な方法で橋の振動の手応えを求め、統計的知見と比較して健全度の推定を行う方法です。対象とする構造物の直接の耐荷力は、それを破壊させるまでの載荷試験を行わなければなりませんので、振動測定は非破壊試験に位置づけます。多くの振動測定の結果から得られる経験的・統計的な知見と比較して、相対的に対象構造物の健全度を推定します。振動問題は、専門ごとに興味の焦点が異なり、学問的にも奥行きが深い分野です。構造物、特に橋梁を対象としても、全国的に見れば橋梁数は何十万とあるので、個別の興味を捨象して標準化を考え、なるべく多くの振動測定を積み上げて、統計的知見を増やします。そのためには、振動測定から解析までの、首尾一貫したハード・ソフトの綜合されたシステムが必要です。この解説書は、株式会社東京測器研究所製の歪みゲージ式加速度計を利用するシステム構成でまとめてあります。他社の加速度計または速度計を利用する場合には、本システム構成を部分的に変更して利用することができます。個別の項目は、他の項目と密接な関連を持ちますので、標準化の提案を兼ねて仕様にまとめ、この本文の添付資料としました。それぞれについては、さらに詳しい説明書がありますが、それらを全部まとめると量が多すぎますので、別資料としました。

島田静雄

内　容　目　次

はじめに
1.　診断システムの考え方
　　病院システムとの類似で理解する
　　人の健康診断との類似で理解する
　　診断は統計的なデータと比較して判断する
　　特殊な構造物以外には点検専門の組織がないこと
　　カルテに相当する記録簿を作成すること
　　データ量の爆発的な増加を抑える標準化

2.　診断システムの構成
　　システムとは要素の有機的な綜合を言う
　　診断の道具は加速度計とすること
　　三成分の同時測定を単位とすること
　　ソフトウエアは基本的な処理に限定してあること
　　解析結果の解釈には専門家の助言が必要
　　測定結果の情報を集めるデータセンタの構想

添付資料

付録 A:　振動測定による構造物診断システムの仕様
付録 B:　構造物診断システムで用いるパソコン及びソフトウエアの設定
付録 C:　構造物診断システムで用いるデータ構造およびファイルの仕様
付録 D:　現場測定時の作業手順

1. 診断システムの考え方

病院システムとの類似で理解する

人は、健康管理をしながら、それぞれの社会環境で仕事をしています。構造物、それも橋梁は重量交通に曝されますので、比喩的に言えば体力仕事をしてもらっています。人の場合と同じように、老齢化も進みます。設計荷重を超える重量車の通行は、耐力、つまり体力以上の仕事をさせられますので、不具合が蓄積、つまり疲労や劣化が進みます。人と同じように、日常的な健康管理に相当する点検業務は大切です。数ある構造物を毎日見て回ることはできませんので、何かの不具合を見つけた場合に、通報を受け付けて対策を扱う管理の窓口が必要です。人の場合は、本人が病院の受付窓口に行けますが、構造物は物を言いませんし、移動もできませんので、医者の往診なみに、担当者が現地に行って調べなければなりません。橋梁の診断は、医者に相当する橋梁の専門家が当たるのが最善です。しかし、橋梁の絶対数は多く、相対的に専門家の数は非常に少ないので、一般の人でも使える簡単な計測器で事前の振動調査をしてもらい、それを基にして専門家が判断し、必要に応じてより詳しい診断と対策を考えるのが実践的です。病院の場合、診断は専門医師がするにしても、それ以外に、看護婦さんを始め、多くの手助けがあり、加えて、レントゲン撮影、血液検査などをする、多くの技能集団に支えられています。構造物の診断も、専門家と協力する技能集団の構想が必要です。この全体をシステムとして捉え、ハードウエア、ソフトウエア、それにヒューマンインタフェースである作業マニュアなどで構成します。

人の健康診断との類似で理解する

人が自分で健康であると自負している場合には、健康診断のためにわざわざ病院に行くことはありません。しかし、健康であることを客観的に判断する自己のデータは、知っているのが最善です。日常的な健康診断は、簡単な測定と診察で済ませます。医師ならば、まず、眼で見て（視診）ある程度のことは類推します。体力の方は、運動能力・耐久力・抵抗力などの綜合ですので健康が前提です。健康状態や体力は、血圧・体温などの基礎的な計測値を参考にします。人の体調は、本人が最も身体の状態を知っていますので、問診で本人からの聞き取りが有効です。基本的な診察手法は、人の場合、触ったり、聴診器で音を聴いたりする触診・叩診・聴診です。構造物の健康診断も似たような方法を取ります。構造物は物を言いませんので、現場の観察、つまり視診から始めます。実際に見た人から間接的に聞くこと（聞き取り）が問診に当たります。構造物の「触診・叩診・聴診」に位置づけるのが振動測定です。橋梁の場合には、通行車両による振動を体感できますが、建築物は、地震時以外は殆ど振動しませんので、振動させて診察する方法の実用化に難しいところがあります。構造物の振動を体感で診断するのでは不正確ですので、振動計を使って物理的な測定をし、それを解析して判断に使います。この綜合が診断システムです。診察データの判断は専門家が当たるのがよいのですが、一般の人でもある程度の判断ができるように、標準化とガイダンスが必要です。

診断は統計的なデータと比較して判断する

人が普通の健康体であると客観的に判断する方法は、多くの人の診断測定データとの相対的な比較であって、絶対評価ではありません。本人自身の診断データの履歴と比較することも相対評価の一つです。したがって、健康診断には、あらかじめ、なるべく多くの測定データを統計的に積み上げておきます。小学校などで行われている年一回の健康診断のような、数をこなす測定は、簡単で費用が掛からないようにし、データの整理も流れ作業に乗るような一般化・大衆化が最善です。個別の測定データが、統計的に得られたデータと比較してズレが大きいか、病気であることが自明であると、そこで、やや詳しい診断が提案されます。研究目的の測定は、対象に偏りがあるのが普通ですし、設備も特殊になり易く、相対的に経費も嵩みます。構造物の健康診断も、考え方は同じです。通常の供用状態で、なるべく多くの構造物を対象とし、測定データを統計的に積み上げる診断システムを提案することです。一つの構造物であっても、以前の測定データを蓄積保存して比較に使うのも、統計的な処理の応用です。

特殊な構造物以外には点検専門の組織がないこと

橋梁をはじめ、大部分の構造物では、日常的な点検業務は、特殊な構造物の場合以外はしません。鉄道は特殊な閉じたシステムを構成していて、一般利用者が立ち入りませんので、保線や機材の修理点検に関する専門の技能集団があります。道路構造物は一般的な利用に供用されていますが、道路ごとに管理の窓口が分散していますので、横断的で統一の取れた点検専門のシステムを構築できないのが現実です。日常的に専門の技能集団を編成して巡回するのも無駄が多く、素人勉強で通り一遍の調査になり易いところがあります。検査用の自動車に測定装置を搭載して巡回するアイディアもありますが、鉄道とは違いがありますので、現状では具体的成果を収集する方法にはなりません。したがって、モニタリングの一つは、一般市民からの通報を積極的に活用することです。鉄道の場合、保線は作業部隊に編成した専門組織で行いますので、構造物の不具合などは保線が窓口になって情報が集まります。通報者は、運転士や車掌が多く、稀に一般からも入ります。鉄道橋では、構造的な欠陥で列車もろとも落橋した事故を聞きませんが、その前に、何かの異常音がする、などの通報があって、破壊による重大な崩壊事故の前に対策が取られた例が多いそうです。

カルテに相当する記録簿を作成すること

人が病院に診察に行くと、病院側は種々の資料を作成します。重要な資料が***カルテ***（ドイツ語）であって、個人の診察記録が医師によって書き込まれます。担当医が変っても、カルテを見れば病歴などの情報が分かります。カルテは記録の追加がある資料です。構造物の診断の場合にも、統計的な資料との比較と同時に、その構造物の経年的な記録が残されていれば、過去のデータとの比較で疲労や劣化の判断に役立ちます。橋梁の場合には、管理者側で橋梁台帳を作成するのですが、これがカルテに当たります。保存の対象となる資料を***アーカイブ***(archives)と言うことが多くなりました。これは歴史として留める意義を持ち、必ずしも図書だけが対象ではありません。クラシック音楽に趣味を持つ人ならば、ドイツ語読みのアルヒーブと説明すると納得してもらえます。アーカイブは、元資料が作成された日時で固定化され、内容の変更や追加が無い資料です。現在使用中の構造物について記録を保存したものはアーカイブではなくて、カルテと考えるのが良いでしょう。歴史に留めるような古い橋梁でも、現役で大事に使用しているのであれば、以前からの経過を記録したカルテが、いつでも見られるような資料管理をするべきでしょう。振動を測定して、それをカルテのような記録に残す習慣は、今まではありませんでした。振動調査だけの結果報告は、学術論文としてあまり高い評価をしませんでしたので、文献調査をしても、見つからないのが現実です。標準化した診断システムの利用と同時に、測定結果をどこかで集積してデータベース的な管理をすることも課題です。

データ量の爆発的な増加を抑える標準化

実際に振動測定から解析までの作業に当たると、多くの測定データを採りたくなります。その解析から報告作成の段階でも、付随して資料が大量に作成されます。これらの多くはコンピュータで処理されますのでファイルとして蓄積されます。測定点数が多くなると、流れ作業的にデータ処理を計画しなければ人手も時間も掛かります。測定段階のデータは、明らかに不必要なデータは削除しますが、後で役に立つかも知れないと、情の残るデータは保存したくなります。したがって、最初に得られる生の測定データは、データ量が嵩張らないファイル形式が最善です。生のデータは、全体波形が閲覧できるようなグラフィックス表現（バイブログラム）にした二次的な資料を作成しておいて、それを見て詳細解析に載せるデータ箇所を選ぶようにします。

2. 診断システムの構成

システムとは要素の有機的な綜合を言う

英語の system をカタカナ用語として使うシステムは、種々の意義を持っています。工学で使う場合には、多くの構成要素が互いに関連を持ちながら、全体として一つの機能を持つものを総称して言います。橋梁は、多くの構造部材を有機的に組み合わせて交通路を構成しますので、構造システムとする見方があります。診断システムは、考え方として、ハードウエア（加速度計、レコーダ、パソコンなど)、ソフトウエア（解析に用いるプログラム、説明書など）及びインタフェース（使い方や作業手順など）の組み合わせを考え、この綜合で構造物の健全度の推定をするシステムとします。この構成を、やや具体的に示すと、次のようになります。

- 三成分加速度センサ一式（歪みゲージ応用、圧電型など))
- 四成分レコーダ一式（歪みゲージ制御、アンプ、電源装置などを含む)
- Windows パソコン一式（Excel,Word などのソフトとプリンタなどの周辺装置を含む)
- データ処理と解析ソフトウエア（診断システムに特化して開発)
- 測定実施要領書（測定作業から解析作業までの手引き)
- 個別の構成システムの仕様書、説明書など
- その他（チュトリアル・ガイダンス資料など)

診断の道具は加速度計とすること

橋梁は、重量の大きな車両を安全に支え、空間を渡す通路を構成することが目的です。そのため、構造物の中でも良く振動する性質を持ちます。橋梁設計では、間接的ですが、橋梁の振動レベルが大きくならないように、タワミを制限する基準が決められています。現実の橋梁の振動は、加速度レベルとして 0.02G 程度であって、大きい場合であっても 0.2G を超えることは、あまりありません。これは、地震の震度で言えば１～２程度です。そのため、構造物の振動測定は、地震計並の高感度のセンサが必要ですので、専門的には、特殊でやや高価な設備を使います。歪み計の原理を応用する加速度計は、比較的安価で、取り扱いも簡単です。これは、感度の向きを垂直にすると重力の加速度 1G を計測することができます。しかし、0.02G のような低いレベルの振動を計測しようと感度を高めた加速度計を使うと、輸送や取り扱いのときに壊してしまう危険があります。そこで、安全のため、2G 以上の計測のできる容量の大きな加速度計を使い、アンプを始めとしたハードウエアと解析のソフトウエアの総合化されたシステムで、この弱点を補います。

三成分の同時測定を単位とすること

力学的に言うと、動的な現象は６成分あります。移動と回転であって、それぞれに空間的に３成分です。普通のセンサ一つは、一方向の移動成分を検出しますので、これを三つ組み合わせた３成分一体型の加速度計が便利です。これを使って、垂直方向と水平二方向の振動成分を同時計測することを一つの測定単位とし、３成分をまとめて扱うように全体システムを標準構成します。現場でのセンサ設置の向きは、対象構造物の対称軸を考え、水平二成分を橋軸方向とそれと直角方向に合わせます。回転成分は、橋梁の場合、橋軸回りの捩れ振動が主な対象です。回転を検出する専用のセンサは、ジャイロコンパスを応用する、などの非常に特殊で高価なものになりますので、実践的には、加速度計を或る間隔で離して対に使い、振動データの和と差とをソフトウエア的に計算すれば、移動と回転とに分離することができます。この目的には、三成分一体型加速度計システムを複数台使い、場所を変えて設置し、独立に計測します。同時に記録されるタイマ情報をもとにソフトウエア的に同期を取ります。しかし、一台のシステムであっても、場所を変えて測定することで、捩れ成分の振動を同定できることがあります。これは橋梁の専門家が全体結果を判断して行います。

ソフトウエアは基本的な処理に限定してあること

診断システムの構成では、パソコン（パーソナルコンピュータ）が陰に陽に使われています。パソコンの能力が飛躍的に上がり、従来の大型のコンピュータ（メインフレーム）と遜色無い機能になりましたので、研究機関の環境でなくても、一般ユーザでも高度の情報処理が可能になりました。しかし、処理の内容は専門的ですので、ソフトウエアは一般ユーザが扱い易いように、ブラックボックス化されます。現場にパソコンを持ち込んで作業をすることも可能ですが、作業性の見方からは、測定作業に専念するようにして、パソコンと繋がなければ処理ができないような構成を避けます。レコーダ類は内部にCPU が組み込まれていますが、そのソフトウエアは作業前にパソコンと接続して設定します。また測定終了後は、レコーダ側に組み込んだメモリのデータをパソコンに取り込んで解析します。診断システム側で準備した解析ソフトウエアは、基本的な機能に絞ってあります。解析の段階になると、多くの研究上の見方が入りますので、固定化した解析ソフトウエアでは満足しないユーザも多いと思います。興味の焦点が異なる解析ソフトウエアが別に幾つもあるのは当然です。また、外部記憶装置など、インタフェースに関連する周辺装置の開発は日進月歩の感がありますので、それに合わせるようにソフトウエアの中身も弾力的な対応が必要になっています。これらの情報開示の方法は別途考えることにしました。

解析結果の解釈には専門家の助言が必要

橋梁振動測定のデータの標準的な解析処理は、成分方向別の卓越振動を求めることに主目的を置きます。とりわけ、主構造の上下振動の固有振動数が重要です。この振動数 fHz は支間 Lm の平方根に比例する統計的な性質があって、設計基準のタワミ制限から決まります。その関係式は、タワミ制限が支間の 1/2000 の場合には $f=22/\sqrt{L}$ です。例えば、支間 100m では f=2.2Hz になります。この関係は、統計的な研究で、構造形式別に求まってはいますが、第一義的に結果を判定するときに使うことができます。計算上の振動数よりも大きめに結果が得られれば健全、下回るようであれば剛性不足と判定します。振動測定は３成分得られますし、測定箇所を変えると別の結果も得られます。この全体から、測定対象橋梁のその他の力学的性質が分かります。この判定方法になると、橋梁の専門家の助言が必要です。綜合的な判断には、測定結果を見易いグラフや数値に表しておきます。最も基礎的なグラフは、振動波形を生で観察するオシログラム（バイブログラムと言う表現を使っています)。次いで、やや専門的になりますが相関グラフがあります。スペクトル図の形でグラフ化するのが、一般ユーザに馴染み易い表現方法です。しかし、ここで計算されるスペクトルは、光のスペクトルのような物理的な意義ではなく、振動の出易さを表す**確立分布**のグラフと解釈しなければなりません。と言うのは、構造物の振動は、通行する車両など、外部の撹乱力に引きずられる応答振動だからです。したがって、卓越振動はスペクトル図では尖鋭なピークではなく、或る山を描きます。山が急であるか、なだらかであるかを表すパラメータが**減衰係数**です。このことを考えて、卓越振動数を表す数値の精度は２桁程度に抑えて判断に利用します。

測定結果の情報を集めるデータセンタの構想

個別に測定したデータを判定するときには、類似した他の構造物のデータと比較ができるのが最善です。そのためには、どこかでデータサービスのできるセンタがあると助かります。このようなセンタは、言わばボランティア的な作業で始めなければなりません。インターネットが普及してきましたので、もしそのような箇所（サイト）があると、多くの利用者があると思います。同時に、自分の手持ちのデータを提供することで、データをさらに充実するように協力してもらって、データセンタを育てたいものです。

<==========>

付録 A:

振動測定による
構造物診断システムの仕様（案）

A0. 序文

橋梁ならびに建築物を含め、構造物の非破壊検査の一つとして、構造物の振動を測定して、その力学的な性状を解析し診断する方法全体を通して、「振動測定による構造物診断システム」(以降、単に診断システムと略記する)として仕様にまとめる。「石橋を叩いて渡る」という諺にあるように、振動の手応えで安全を確認することは経験的な方法として知られている。この方法を実用的に実施するため、加速度計を使う振動測定に始まり、それをパソコンで解析するまで首尾一貫したハード・ソフトの総合された診断システムを提案する。この方法は、学問的には奥行きの深い課題であるが、ここでは、実用性を考えて、必要最小限の基本的な診断システムの仕様を提案する。専門的な見地からの仕様は種々考えられるが、一般の簡便利用を意図して仕様を限定した。

A1. 一般

A1.1 診断システムの構成

診断システムは、主として橋梁構造物を測定対象として、以下のハードウエアおよびソフトウエア（プログラムおよび文書を含む）で構成する

- 三成分加速度センサ一式
- 四成分動ひずみレコーダ一式（アンプ類、電源装置などを含む）
- Windows パソコン一式
- 解析ソフトウエア
- 測定実施要領書
- システム解説書
- その他（チュトリアル・ガイダンス資料など）

A1.2 振動計

振動計（センサ）は抵抗線歪み計応用の加速度型とし、垂直と水平二成分のセンサを一体化して取り扱いを単純化する。この型のセンサは、重力加速度のような振動数 DC からの感度があるためである。測定周波数範囲は、対象が構造物であるので、DC-100Hz(サンプリング周期 0.005 秒)とする。速度型のセンサの方が振動測定には有利な面もあるが、加速度型のセンサ本体が軽量・小型化になることを考慮した。ただし、輸送などの際、受信部をロックする安全装置がないので、衝撃でセンサを破損させないように留意する。抵抗線歪み計に電源を供給し、出力を増幅するアンプとを含めて一式とする。アンプは乾電池駆動とするが、安定した電源バックアップは、自動車バッテリまたは 100V 商用電源の利用を考慮する。

A1.3 記録計

記録計（動ひずみレコーダ）は、三成分センサのアンプ出力を増幅し、AD 変換したデータと、タイマ信号用に一成分を考えた四成分のデジタルレコーダとする。ハードウエア的には、センサのアンプと一体構成とする。データ記録媒体は、取り外し可能な大容量の外部メモリとし、パソコンに接続して解析する。

A1.4 パソコン

記録計の初期設定には、パソコンまたは小型の携帯情報端末（PDA）を利用する。現場の作業時には、これら無しでも測定が可能であるが、センサの設置確認並びに波形を観察するモニタとして使うとよい。従来、デスクトップ型のパソコンは、やや大型であり、100V の商用電源を必要としたので、電池駆動の携帯情報端末（PDA）をコントローラに用いていた。モバイル型のパソコンが、現場でも便利に利用できるようになったことと、携帯情報端末（PDA）が縮小化の動きがあるので、将来的にはパソコンが現場の作業と室内解析の両方で利用する方向で動いている。

A1.5　解析ソフトウエア

狭い意味でのソフトウエアはプログラムのことを指す。これには、振動計・記録計を制御する目的のプログラムと解析に使うプログラムとの区別がある。前者は測定器側寄りであるので、測定器構成の部品扱いとする。解析ソフトウエアは、まず、データロガーの記録媒体からデータを取り込み、データベース的な管理を行う。ここまでを解析の前処理とする。ついで、加速度計三成分を並列に扱い、相関解析・スペクトル解析などをインタラクティブに処理し、これらを選択して報告書の原稿作成を行う。

A1.6　測定実施要領書など

振動測定の準備・実施・解析・結果報告の際に参照する書類を、一括して広い意味でソフトウエアとする。これらは、個別の測定報告書とは異なり、改訂（バージョンの更新）がある。

A2.　計測機器

三成分計測システムの構成例を参考資料として下に示す。

表 A1：　三成分計測システムの構成（株式会社東京測器研究所の例）

番号	名　　称	カタログ番号	仕　　様	参考価格
	三軸加速度計	ARF-20A-T	延長コード 5m 先端コネクタ付き	150,000
	超小型動ひずみレコーダ	DC-104R	印加電圧標準 DC2V	398,000
	CF カード	同上付属	32MB	
	DC 電源ケーブル	同上付属	DC-104R の接続用	
	センサケーブル	同上付属		
	USB ケーブル	同上付属	PC と DC-104R 接続用	
	標準ソフトウエア DC-7104	同上付属	パソコンを使う場合のソフトウエア	
	バッテリーパック	BA-104		約 17,000
	AC アダプターセット	CR-1860		約　7,000
	携帯情報端末 PDA		ポケット PC（A1.4 の説明参照）	約 86,000
	PDA 用ソフトウエア	DC-7104pda	上記コントロール用	約 70,000
	キャリングケース	CA-10A		約 20,000
	設置治具一式		マグネットスタンドなど	約　9,000
	電池等			
	パソコン		Windows98SE 以降	
	動的計測ソフトウエア	DC-7630	データ管理ソフトウエア	98,000

【解説】

振動計測をしたいとして、費用を見積もるときの参考資料を表１にまとめた。抵抗線歪み計の原理を応用した加速度計（センサ）は、他の原理に基づくセンサに較べて、相対的に低価格であり、取り扱いが便利である。しかし感度を上げた製品は衝撃に弱い欠点があるので、予備的に複数組を準備しておくのがよい。経費の算定では半ば消耗品並に償却を考える。歪み計は、電気的なブリッジ回路に構成して出力を得るので、１成分当たり一台のアンプを使う。この出力は、同じく１台の AD 変換器を介してデジタル記録する。これを４成分まとめたものが動ひずみレコーダである。この本体には特化した小型コンピュータを持ち、デジタル記録は小型のフラッシュメモリに記録される。このコンピュータの初期化は、測定作業前にパソコンと接続して行うので、その専用ソフトウエアが必要になる。現場ではレコーダと加速度計だけで作業ができるが、簡易なモニタ機能と制御用に、パソコンか携帯情報端末（PDA）を使う。表１ではパソコンの価格は入れていない。

図 A1： 三軸加速度計 ARF-20A-T

図 A2： 超小型動ひずみレコーダ DC-104R

図 A3： 携帯情報端末（PDA）と共にキャリングケースに納めた一式

A3.　現場測定作業の要領

A3.1　測定作業の人員

振動測定は、一人で作業を実行することも可能ではあるが、安全管理上は二人でペアを組んで作業に当たるのが良い。センサの設置・コードの接続などの準備作業と、後片付けなどは協力して行う。測定の開始・停止は一人が当たり、もう一人は測定環境や測定状況を**野帳**に書き込むことに当たる。テープレコーダ式のデジタルレコーダが利用されていた時は、音声によるモニタ録音が可能であったので、それに代わる方法として野帳記録が必要になる。歩道のある橋梁では測定作業は歩道上で行うことができ、歩行者の邪魔をすることも殆どない。歩道が無い場合には、車道の部分的な使用の許可を所轄警察署に願い出ると共に、安全管理者を決める、などの対応が必要になる。

A3.2　センサ設置箇所

三成分センサは、上下および水平２方向の加速度を検出するので、橋梁における標準的な設置向きは、橋軸方向の水平動（Ch1)、橋軸直角方向の水平動(Ch2)、上下動(Ch3)に合わせる。その設置位置は、対象橋梁の振動性状を良く検知できる箇所を選ぶ。これを**主測定点**とする。この箇所の選定は、或る程度の専門的な判断を必要とするので、専門家の助言を得るのが望ましい。一般的に言えば、橋梁は、支間中央で鉛直方向の振動が大きく得られるので、ここを主測定点とする。しかしながら、例えば、歩道上にセンサを置くと、床版の局部的な振動が大きく得られて、本体構造の振動が隠されることもあるので、注意が必要になる。そのため、設置箇所を変えて測定し、これら相互の結果を比較して、対象構造物の振動の全体像を同定する。この判断には専門家の経験的な知見を必要とする。三成分のセンサを使うことは、一箇所の測定であっても、成分間の振動性状の比較で振動性状の同定に役立てることができるからである。橋梁上部構造の振動性状を求める場合には、補助計測点として、下部構造である橋脚・橋台・地盤および周辺の建築物などを含めるのがよい。

A3.3　構造物の励振方法

橋梁は大きな構造物であるので、通常では体感できるほどの大きな振動を起こさない。振動は、主に橋梁上の通行車両によって励振される。特に大型車両が通行すると振幅が大きく、解析し易いデータが得られる。交通量が少ない場合には特に重量車をチャーターして走行してもらう必要があるが、通常の交通状態を見て、大型車が橋梁に進入してくるタイミングを計って測定する方法を勧める。このようにして振動測定をすると、波形そのものはランダムであるが、これをソフトウエアで統計解析することで有意な結果が得られる。励振方法として、特別な起振装置を使うことがあるが、測定作業全体が大掛かりになり、費用面でも嵩む。

A3.4　計測継続時間

振動波形は、或る一定のサンプリング周期(0.005 秒が標準)でデジタル化され、その約 20 秒間を選んでスペクトル解析に載せる。このことを考慮して、測定は、約 40 秒を一単位の継続時間とするように作業し、測定終了後の解析の段階で、波形を見ながら 20 秒間の解析区間を切り出す。構造物の卓越振動は、確率的な性質があって、出たり出なかったりする。また、構造物の固有振動モードで、振動の節に当たる箇所ではその振動モードが計測に掛からないことがある。アーチ系の橋梁では支間中央に節のある逆対称振動モードが卓越する傾向があるので、さかのぼって、**A3.2** で説明したセンサ設置箇所の選択のときに、支間 1/4 点での測定を加えておく、などの注意が必要になる。したがって、解析区間を切り出す時間範囲次第と測定箇所次第で、卓越振動を拾うことに失敗することもある。(この判断は解析ソフトウエアを運用するときに説明する。)

A3.5　データ管理

測定データは、レコーダに挿入設置したフラッシュメモリ（CF カード 32MB 標準）に、シリーズ番号が自動的に振られてファイル化される。解析作業は、CF カードのファイルをパソコンのメモリに取り込んで行うので、このファイル全体を一つのフォルダにまとめ、作業名などの分かるフォルダ名を付ける。測定データのファイル名は、測定対象や測定点の名称などの**測定時情報**を持たないので、2.1 項で説明した**野帳**の記録を元に、ファイル名と測定時情報との対応表を作成しなければならない。

A4.　振動データ解析作業と結果の解釈

A4.1　解析の目標

データ解析の主な目的は、卓越振動数を求めることである。これは橋梁の力学的な固有振動数を求めることに主眼を持ち、特に上下動に注目すれば対象橋梁の力学的な特性を他の橋梁のデータと比較することができる。しかしながら、上下動だけでなく、水平方向の振動、捩れを伴う振動などの区別があり、また振動モードと次数などの解釈をしなければならない。これらを綜合的に解釈するには、橋梁の専門家の判断を必要とする。

A4.2　パソコンと OS

解析作業に用いるハードウエアは、Windows 系のパーソナルコンピュータ（パソコン）の使用を前提とする。OS バージョンの相違は、ソフトウエアの動作に微妙に影響する。MS-Office 系列の Excel, Word などは、バージョン変更に弾力的に対応することができるが、現時点の解析用ソフトウエアは、Visual Basic 6.0 で組んであるので、これが機能する環境に合わせるように、追加の DLL などをインストールする必要が生じることがある。

A4.3　周辺機器とのインタフェース

プリンタ・ディスク装置などの周辺機器との接続を別として、一般的な周辺機器とのインタフェースは USB(universal serial bus)を使用する。パソコンから見れば、小型歪みレコーダも周辺機器の一種であって、間接的に CF カード（小型のフラッシュメモリ；書き込み読み出しのできるメモリ）のファイルを利用する。USB ケーブルで接続しても、ファイルの読み出しには、測定作業に用いる専用のソフトウエア(DC7104)が必要になる。CF カード単独のインタフェース(コネクタ仕様)が USB ではないので、レコーダから CF カードを取り出して、独立に別のパソコンでファイルを読むためには、読み出し用のインタフェース（コネクタ仕様）が別途必要である。この解決は、計測用ソフトウエアを介して取り込んだファイルを、別の USB 仕様のフラッシュメモリに写すか、メール機能を使ってファイル転送をする。

A4.4　作業単位とファイルの種類

構造物の振動現象を、同時三成分の加速度計によって現場で記録する一単位の作業は、レコーダ操作上の単位を指し、レコーダ記録ボタンでの開始から停止までである。これを**測定単位**と呼ぶ。レコーダは、一定長さ単位でファイルに区切って自動的にフラッシュメモリに連続的に書き込む。この場合のファイル名は、全体の測定単位を通したシリーズ番号が自動的に付与される。このファイルを①**データファイル**(*.DAT)と呼ぶ。1 測定単位は、論理的に連続する複数データファイルのシリーズで記録される。しかしながら、データ処理上の作業単位は、この 1 データファイルごとに独立した扱いとする。データファイルは数値のバイナリーデータの並びだけであるので、測定条件と設定を記録したテキストファイルが、データファイルと対を構成するように、同時に自動作成される。これを②**ヘッダーファイル**(*.HED)と呼ぶ。データ処理作業は、フラッシュメモリのファイルをパソコンに取り込んで、③**解析作業用ファイル**(*.TXT)に編集する。これを**前処理**と呼ぶ。データファイルの或る区間を選択して、スペクトル計算などの解析作業に便利な形式のテキストファイルに変換して切り出したものが解析作業用ファイルである。この場合、複数の解析作業用ファイルを作成することもある。

A4.4　データの前処理

測定データは、質の良し悪しに関わらず、逐次、CF カードに記録される。一連の測定作業が終了した時点で、全体を見直して、明らかに失敗であるデータを除くなどの判断をしたい。従来、この判断には、振動波形のオッシログラムを利用するので、デジタル化したデータの場合にも、同質のグラフ（**バイブログラム**）を作図する。波形を観察すれば、どの時間区間が解析に利用できるかについて或る程度の判断ができる。しかし、橋梁の振動波形は、外見的にはランダム波形であるので、その波形が解析に適しているかどうかの判断を立て難い。その判断を補うため、スペクトルの時間的な変動が分かる**ランニングスペクトル**を併用する。構造物の卓越振動は確率的な性質があって、時間的に出たり出なかったりするので、解析区間の選定次第では卓越振動の同定に失敗することが起こる。上記の二種類のグラフを見て、詳細解析に使う標準化した振動データを選択的に切り出す。同時に、測定対象、測定位置、測定条件などを追加して解析作業用ファイルを作成する。ここまでが前処理である。前処理に使うソフトウエアとして **DataPreViewer** を準備した。

A4.5　解析処理

解析作業用ファイルはテキスト形式であるが、ファイルの拡張子を(*.CSV)と書き換えれば、Excel でそのまま読み出して利用することができる。Excel は事務処理用の表計算ソフト(spreadsheet program)であるが、豊富な組み込み関数やグラフ化機能が使えることもあって、科学技術計算に利用することが増えている。しかしながら、スペクトル計算などを処理するには、やや扱いが複雑になるので、時系列解析用のソフトウエア TimeProcess を準備した。前処理に使うファイルから、バイナリーファイル全体を単純に CSV 形式に変換するソフトウエアも別途準備されているが、ファイル寸法が約五倍に膨らむので、大量のデータを管理する場合にはやや不経済にメモリを消費する。これらのプログラムマニュアル、および、扱うファイルの仕様は、別資料とする。

A4.6　データ管理

振動データの測定から解析までには多くのファイルが利用される。ヘッダーファイルとデータファイルのファイル名は、ハードウエアが自動生成する。また、解析作業用ファイルのファイル名も自動生成の対象とする。したがって、多くの異なる測定作業間では同名のファイルが作成されるので、この仕分けのために、フォルダ名を階層的に使って、フォルダ単位での管理をする。ファイルの中身は数値の集合であるので、ファイル名とデータタイトルなどの情報リストの他に、バイブログラム・ランニングスペクトル・モニタグラフを、管理用資料として利用する。

A4.7　解析結果の解釈

構造物の振動解析において、固有振動数のスペクトル分布のグラフは、光学的なスペクトル図のような物理的な意義を持たない。構造物は、それ自身が振動の発生源ではなく、撹乱力に引きずられて振動するので、応答振動を示す。力学的に言えば、振動のセンサも一つの力学系であって、撹乱力によって応答振動をする。センサの場合には、明確な共振が出ないように製作されている。構造物の振動スペクトルも統計的な確率分布の性質を持ち、撹乱力に引きずられるので、振動数に揺れがあるのが普通である。スペクトルは尖鋭なピークで得られるのではなく、全体として山を持つ。山が緩やかであるか急であるかを表すパラメータが減衰係数である。このことを考慮して、固有振動数の精度は、数値計算で得られた桁数の多い数値から２～３桁に丸める。減衰係数も 2 桁程度の表示に抑える。構造物の上部構の振動特性は、それが立地する地盤・基礎の性質と関わる。上部構が幾何学的に同形式であっても場所ごとに異なる。このことを考慮して、地盤・基礎の振動も測定しておくことを勧める。これらのデータは、その時点で無理に説明を考えるのではなく、参考として付記するのが望ましい。

A4.8　簡易な診断法

振動する力学系は、対象が何であっても、共通した性質がある。それは、自分の重さ(質量M×重力加速度ｇ)の力で変位する大きさ y が計算できれば、y が振動数 f の２乗に反比例する。その関係は、$y=1/4f^2$ である。振動周期 T を使うと、$y=0.25T^2$ である。数値的性質を言えば、周期１秒の振動は静的な変位で約 25cm、２秒で 1m、0.1 秒(10Hz)で 2.5mm である。この性質は垂直・水平の振動向きとは関係しない。単純橋梁の振動では、支間の半分の重量が支間中央に集中している動力学モデルで計算すると実際を良く表す。橋梁の場合には、設計時にタワミ制限があって、自重＋活荷重によるタワミを支間の 1000 分の１にするなどと決めるので､固有振動数ｆが支間Ｌの平方根に逆比例する統計的な性質がある。この関係は、タワミ制限が L/2000 の場合、$f=22/\sqrt{L}$、L/500 では $f=11/\sqrt{L}$ になる。測定された振動数をこの理論値と比較し、振動数が高ければ剛性が高いと判定し、低ければ剛性が不足し、耐荷力に問題がある、と判定する。建築構造の場合は上下動ではなく水平方向の振動を問題にするが、これにも統計的な性質が知られていて、振動周期が建物の高さに比例する。鉄筋コンクリート造では T=0.02H、鉄骨構造では T=0.03H である（望月 重による)。これらの関係は少ない測定データから得られているので、多くの測定を積み重ねることで、具体的な性質が明らかになると期待される。

<--->

付録 B:

構造物診断システムで用いる
パソコン及びソフトウエアの設定

B0. 概要

二種類の準備設定があること

構造物の振動を測定して、その力学的な性状を解析したいと計画するとき、そもそもの始めは、加速度計・レコーダ・パソコン、などの準備から始めなければならない。新しく全体を購入するか、リースなどで利用するか、手持ちの設備を利用するか、などによって手順が変るが、基本的な作業は、全くの処女設備をまとめて、システムに組立てることに始まる。これを第一段階の設定とする。第二段階は、実際の測定作業に合わせて、パラメータの確認や再設定を行う作業とする。振動測定は現場作業が普通であるので、測定時に細かな設定作業に手を掛けないようにする。第一段階の設定は、設備や装置のメーカー側が提供するマニュアルに拠らなければならない。しかし、その内容は、あらゆる場面を網羅するように総花的まとめてあるため、詳細ではあるが分量が嵩み、目的とする事項を参照したいときに手間が掛かる欠点を持つ。測定と解析作業は、殆どがパソコンで管理されるが、現場と室内とでパソコンの作業環境が異なり、また、必ずしも同じパソコンを利用するとは限らない。ここでは、パソコン側に立った視点で設定作業を行うことを解説する。

全体の環境をまず理解する

構造物の診断システムは、加速度計とそのレコーダが主役のハードウエアであるが、レコーダの初期化はパソコンに接続して行う。パソコンはユーザ側で準備する。ただし、商用電源が無い現場での利用を考えて、簡易情報端末 PDA(ポケットコンピュータを利用した装置)と接続する方法を、オプションとして準備してある。パソコンから見るとき、レコーダは、記録媒体（フラッシュメモリ）を持つ外部デバイスの一つであるので、パソコンとレコーダ間のインタフェースを、あらかじめ設定（セットアップとも言う）しておかなければならない。このセットアップに関連する事項は、次の項目である。

(1) 動ひずみレコーダ DC-104R 一式（パソコン側から見た外部デバイス）
(2) パソコン一式
(3) レコーダ制御用ソフトウエア（DC-7104.exe）
(4) デバイスドライバ（レコーダとのインタフェース）
(5) データ解析用ソフトウエア（DC-7630.exe、ほかユーザ開発ソフトなども含める）
(6) 簡易情報端末 PDA（オプション）およびその制御用ソフトウエア（DC-7630pda.exe）

簡易情報端末 PDA は電池駆動のパソコンの意義があること

レコーダは、単独に電池で駆動できるように設計されたデバイスであるが、測定開始前にパソコンと接続して、初期設定が必要である。デスクトップ型のパソコンは、AC 電源を利用するのが標準であったので、AC 電源の利用ができない測定現場を考慮して、レコーダはパソコンと切り離して単独でも利用できるように設計されている。しかし、現場で設定を変更したい場合もあるので、電池駆動のポケットコンピュータと接続して設定する手段がオプションとして準備されている。これを簡易情報端末 PDA と言う。これも、レコーダとのインタフェースを取るためにソフトウエアをインストールしなければならない。しかしながら、電池駆動のモバイルパソコンも利用できるようになってきたので、将来的には PDA を利用しない方向にある。

測定と解析専用にパソコンをシステム化すること

汎用のパソコン（パーソナルコンピュータ）は、一台であっても多くのユーザに迎合して多くの機能を持つように肥大化する傾向がある。しかし、振動の測定と解析作業には、余分な機能を除いて、専用パソコンとして特化する使い方が考えられる。ソフトウエアのプロテクトキーであるハスプ・キー(hasp)は、当該のパソコンを専用化する一つの手段である。また、測定現場に持ち出すパソコンは、データ解析を目的として室内で使うパソコンとは、別とするのが望ましい。これらのパソコンは、外付けのハードディスクなどを介して、関連するソフトウエアとデータを共有し、集中管理する方法を考えるとよい。

B1. パソコンの環境設定

Windows の動作環境を確認する

一般ユーザがレコーダと接続して利用するパソコンは、Microsoft 社の OS である Windows を搭載したものに限られる。ただし、レコーダ制御用ソフトウエアが支障なく機能するために、Windows のバージョン及びパソコンのハードウエア環境について確認しておく。これは、ソフトウエアの開発時におけるプログラミング言語のバージョンなどが関係するからである。

- OS　　：Windows 98SE, Windows Me, Windows 2000, Windows XP
- 外部インタフェース：USB インタフェース。ハードディスクなどは内蔵標準装備でよい
- モニタ　　：1024×768 ドット以上推奨

インタフェースはデバイスとの接続が原義

パソコンは、ユーザの多様な要求を満たすように開発され発展してきているが、その構成を大きく分けて、ハードウエアとソフトウエアに切り分ける。その全体を管理するのが OS(operating system)と呼ばれるソフトウエアである。現在のパソコンは、殆どが Microsoft 社の Windows で管理されている。パソコンの心臓部は電気電子装置の CPU であり、その動作を支える内部メモリを持つ。この部分以外は、総て外部装置（デバイス）扱いであって、選択的に追加される。これらは、専用のコネクタとケーブルで接続されるが、最初から内部的に接続されている場合もある。この接続全体を総括して**インタフェース**と言う用語で表す。基本的な外部装置はキーボードとモニタである。外部記憶装置もほぼ必須であって、記憶媒体としてフロッピーディスク、ハードディスク、ＭＯ，ＣＤ，さらにフラッシュメモリのように多彩である。これらの外部装置個別に専用のコネクタなどが使われているが、これらの共通化が図られるようになってきた。その一つが USB である。パソコンは小型化が進み、ノートパソコンでは嵩張る外部装置を本体から外し、必要なときに USB を介して接続するようになっている。パソコンを操作するのは人であるが、この操作法にインタフェースの概念を当てた用語が**ユーザインタフェース**であって、CUI と GUI などと使われている。操作法の解説は別にまとめる。

ソフトウエアのインストール

Windows の環境で走らせるソフトウエアは、実行時に Windows の OS がサポートする多くの機能を利用している。したがって、例えば、モニタ上のフォームのデザインなどは、バージョンによって少しずつ差がある。この他に、実行時に呼び出し専用のソフトウエア(DLL)を使うことがある。そのこともあって、実行形式のソフトウエアは単独で走らないことが多い。実行を保証するために**インストール**作業を必要とするのは、この理由からである。また、不要になったソフトウエアを削除するときも、Windows のアンインストールの手順に従うのが安全である。専用の DLL も削除するべきであるが、同じ DLL を別のソフトウエアで共用している可能性があるため、不用意に削除できないことがある。Windows はバージョンの改訂ごとにその中身は肥大化し、大量のソフトウエアをパソコン一台に抱えている。パソコンの価格も下がってきているので、不要なソフトウエアを削除するか、インストールしないで、測定と解析とに別々のパソコンを専用にあてがう方法を奨める。これは、一つの安全対策である。

デバイスドライバ

外部記憶装置を利用するとき、装置のメーカーや動作方式が異なっても、ファイルやフォルダは、プログラム側から見て、論理的に同じ扱いができるようにしたい。そのソフトウエア対策として、ユーザのプログラムと外部装置との中間に**デバイスドライバ**を介してアクセスする。デバイスドライバもソフトウエアであって、装置ごとに準備してインストールしなければならない。ただし、デバイスドライバはハードウエアのメーカ側で準備するものである。レコーダも外部装置であるので、専用のデバイスドライバを必要とし、複数のレコーダを接続する場合には、同じ数のデバイスドライバをインストールしなければならない。このデバイスドライバは、レコーダ制御用ソフトウエアで専用される。

B2.　レコーダの設定

室内作業の感覚とは異なること

橋梁構造物を対象とした振動測定は、室内作業と較べれば良い環境でないのが一つの制約である。超小型動ひずみレコーダ DC-104R（単にレコーダと呼ぶ）は、計測システム全体の小型化と共に、室外作業の便が考慮されている。測定車にレコーダとパソコンを置き、加速度計から、延長コードを延ばして測定車に引き込めれば、室内作業に準じた環境も可能であるが、それは例外と考えるべきである。AC 電源が利用できない測定環境では、小寸法のノート型パソコンは、繊細な操作が要求される分だけ扱いが不便であり、またモニタの画面も見難くなる。これには、明るさが不足することと、多くの機能を小さな表示画面に欲張って表示するような、ソフトウエア設計上の感覚の相違も関係する。したがって、測定時に利用するソフトウエアは、現場状況を勘案するようなバージョンの改訂が、今後も図られると考えてよい。

加速度計制御用アンプの機能も持つこと

振動計には種々の種類がある。電気的に見たシステムは、①振動を電気信号（アナログ量）で得ること、②それを増幅するアンプを持つこと、そして③記録と再現（レコードとプレイバック）ができること、で構成される。ここでの振動計測で用いる受感部（センサー）は、歪みゲージを応用する加速度計である。このセンサーは、単独では電気信号が得られないので、ブリッジ回路に印加電圧を加え、ブリッジの初期バランス取り、そこからの電圧変動を増幅して信号を得る専用アンプを必要とする。このアンプはセンサー１成分ごとに必要である。電気信号の記録と再現には、従来、磁気テープを使うデジタルレコーダ方式であった。大容量の記憶装置（メモリ）が利用できるようになって、アナログ信号を変換してデジタルデータで記録する方式が主流となった。レコーダは、歪みゲージ用アンプ、AD 変換器、デジタルレコーダを一体化し、４成分一体型で製品化されている。多くの成分の振動計測は、このレコーダ単位で増設する。

初期設定は内蔵電池の充電から始める

レコーダ単独は、電源を外部から供給するようになっている。レコーダ側には、通電を表示する LED 表示はあるが、電源スイッチを持たず、power コネクタを介して、バッテリーパックまたは AC アダプタと接続して使用する。レコーダは、測定時に、あらかじめ設定した日付・時刻などを含む情報を利用するが、電源ケーブルを外しても、その情報を内部メモリ(RAM)に保存するように、バックアップ用内蔵電池を用いる。この電池は、レコーダの通電状態で充電される。０からフル充電には約 12 時間を必要とするので、加速度計を接続しない状態で AC 電源アダプタから通電して充電する。通電しない状態が一週間以上ある場合には、設定の再確認作業を兼ねて、補充の充電時間を見込む。

測定条件の設定は加速度計とパソコンとを接続する

レコーダは、測定作業に先だって、パソコンと接続して種々の測定時条件を設定しなければならない。測定作業の実際では、パソコンの接続なしでも、前面のキースイッチ一つで、start/stop/balance の操作ができる。パソコンと接続して測定作業をすることの主な目的は、測定データ波形をリアルタイムで確認することにある。測定条件を途中で変更することや、時間的に余裕があれば、データを読み返して波形の確認やスペクトル解析などをその場で行うこともできる。しかし、現場では測定作業に専念するのがよい。

測定前の設定項目

レコーダは、記録用 CF カードを挿入し、測定時に使用する加速度計と接続し、プログラム（レコーダ制御用ソフトウエア DC-7104.exe）をインストールしたパソコンと USB ケーブルで接続した状態にして設定を行う。プログラムを立上げると、レコーダの認識と、レコーダ内蔵の日付・時刻の確認をする初期画面が表示される。必要があれば、日付・時刻を再設定する。なお、日付・時刻の設定は、【設定】メニュー→【日付・時刻設定】サブメニューを選択することでも行うことができる。この再設定は、パソコン側の日付・時刻に合わせるので、遡って、パソコン側の日付・時刻は、例えば、117 番で較正しておく。この確認が済めば、プログラムの作業メニュー画面が表示される。メニュー方式は、ランダムに項目を選択できる便利さの反面、作業をどの順に進めるかの提案に欠けるので、設定の順番と設定定数の選び方を、次項で具体的に示す。

レコーダの設定細項目

レコーダの設定は、プログラム（レコーダ制御用ソフトウエア DC-7104.exe）の実行画面で行う。設定作業の説明は、プログラムの操作手順の解説でもあるので、詳しくは DC-7104 取扱説明書の第５章を参照する。下記の項目設定は、【設定】メニュー→【測定条件設定】サブメニューを選択することで開くダイアログボックスで行う。重複するが、ツールバーの【設定】をクリックしてもダイアログボックスが開く。なお、CF カードのクリアは、【その他】メニュー→【コンパクトフラッシュの初期化】サブメニューで行うが、ツールバーの【File クリア】ボタンで行うことができる。念の為、上の節で説明した初期設定を含め、橋梁振動測定の場合の設定データ項目を下に箇条書で示す。

(1) 日付・時刻　　パソコンに合わせる（プログラム立ち上げ時でも設定できる）
(2) 使用チャンネル数：　　4（第 1～3 まで使用する。第 4 は予備とする）
(3) 加速度計レンジ：　　（加速度計ごとに添付される成績表を参照して選択する）
(4) フィルタ：　　100Hz
(5) バランス：　　ON
(6) トリガ設定：　　FREE RUN
(7) サンプリング速度：　　5ms(200Hz)
(8) データサイズ：　　8K(8192)
(8) 単位系：　　m/S^2（加速度）
(9) 変換係数（スロープ）：　　（加速度計添付の成績表を参照して記入する）
(10) CF カードのクリア：　　（フォーマットを行うので、以前の記録は消える）

レコーダの設定項目の確認

設定状態は、【その他】メニュー→【設定状態の確認】サブメニューを選択するか、または、ツールバーのリストボタンのクリックで表示されるリストを見て確認する。設定変更をする場合には、前項の作業画面に戻って設定をし直す。設定確認が済んだレコーダは、パソコンとの接続を外しても測定作業を行うことができる。

B3.　簡易情報端末 PDA の利用（オプション）

現場測定専用のコンピュータであること

通常のデスクトップ型のパソコンは AC 電源を必要とするので、AC 電源が利用できない現場で、レコーダ単体の制御専用に簡易情報端末 PDA（以降 PDA と略記）が準備されている。PDA 本体は、小型のポケットコンピュータ（通称ポケコン）であって、下記製品が対応する。レコーダとのインタフェースを取るため、コネクタを付したケースに納めた状態で利用し、この全体を PDA と呼ぶ。

- CASIO 製　　CASSIOPEIA E-2000 Pocket PC 2002
- TOSHIBA 製　　GENIO e 550G シリーズ Pocket PC 2002, 2003
- MiTAC 製　　Mio558 Pocket PC 2003
- TOSHIBA 製　　GENIO e 830 Pocket PC 2003

ソフトエアのインストール

ポケコンは、レコーダ制御専用として利用するためのソフトウエア：DC-104R ポケットコントローラ(DC-7104pda.exe)をインストールしなければならない。このソフトウエアは SD カードに納められ、PDA の付属品として、取扱説明書と共に添付される。インストールおよびレコーダ設定などの手順の詳細は取扱説明書を参照する。なお、ポケコン本体については、前記メーカが提供する取扱説明書を参照する。

レコーダの設定

レコーダの設定細項目とそれらの内容は、前節 B2 で解説した 10 項目と、ほぼ同じである。ただし、レコーダの設定は PDA からも可能ではあるが、パソコンの方で設定を済ませておくのが望ましい。PDA は小さいながらもモニタ画面を持つので、主な利用方法は現場測定でのレコーダの start/stop/balance 制御と、振動波形のモニタリングである。

<--->

付録 C:

構造物診断システムで用いる
データ構造およびファイルの仕様

C0. 概要

仕様を決める目的

振動現象の測定から解析までの作業は、直接・間接にコンピュータを利用し、大量のデータを扱う。その起点となるデータは、振動計のアナログ出力を計測器側でデジタル化したファイルである。これは計測器寄りのデータ構造を持ち、言わば生データである。これを汎用の解析に向くようにデータ変換し、測定時情報などを加え、データベースの原資料化し、種々の解析利用に備えたい。振動解析は、専門ごとに利用目的があり、データ採取の要望も異なる。ここでの仕様は、主として、橋梁構造物を対象とした診断システムに利用するように限定した提案である。ここでの診断システムに用いる計測器は、株式会社東京測器研究所の動ひずみレコーダ(DC-104R)を利用するように、やや特化した。研究を目的とする場合には、視点を固定しないで種々の計測器とデータ構造を扱うが、ここでは汎用を目的として、限定したファイル仕様を提案する。このようにすることの目的は、解析ソフトウエアをプログラミングする場合、ファイル構造の相違によって、その都度プログラムのソースコードを変更する煩わしさを避け、標準化したソフトウエアをサービスすることにある。

三種類のファイルを扱う

構造物の振動現象を、現場でデジタル記録し、そのデータを解析に載せる前段階までの予備的な作業には、三種類のファイルを扱う。その名称を、下のようにする。括弧書きは拡張子を示す。

①データファイル(*.dat)
②ヘッダーファイル(*.hed)
③解析作業用ファイル(*.acc)

前二つ①②は、レコーダのハードウエア寄りの仕様で設計されていて、やや専門的である。データ解析に利用するには、一般ユーザが一 Windows 系パソコンで扱うことができるようなファイル構造に変換する必要がある。これが③解析作業用ファイルである。Windows 系パソコンの環境では、EXCEL で読めるテキストファイル形式 (*.csv) にファイル変換をしておくと便利である。したがって、上記の解析作業用ファイル(*.acc)はコンマ区切りのテキストファイルであるので、拡張子を(*.txt)、(*.csv)など、目的にあわせて書き換えても問題はない。(*.csv)に変更すれば、EXCEL でそのまま読み出して利用できる。データ解析は、報告書などに利用する目的を持って種々の派生的なファイルを扱うことになるが、そこでは、ファイル名の拡張子でフィルタを掛けるようにしてあるので、その目的を持たせて③解析作業用ファイルの拡張子を(*.acc)に特化した。

C1. データファイル(*.dat)のデータ構造

レコーダの設定で決まる仕様

橋梁の振動は、機械装置などの振動に較べれば低い周波数領域にあって、DC～100Hz 程度を考えればよい。地盤の卓越周期（振動数の逆数）では３～５秒の長周期が報告されることもある。橋梁振動では音としての低周波振動が注目されることがあり、周波数領域としては 10～30Hz が多い。これは派生的に空気振動として測定に掛かることがある。機械振動では、例えば自動車エンジンの毎分回転数 6000RPM は 100Hz に相当し、橋梁振動よりも平均して高い周波数が注目される。電気機械では、商用電源 50/60Hz の交流が、その倍の 100/120Hz のハムとして体験される。これらのことを考慮して、レコーダ単独の標準設定値は下のように決める。これらの値は、②ヘッダーファイルに記録される。

(1) 同時記録成分数： 4（水平動 2 成分、鉛直 1 成分、残り 1 成分は予備とする）
(2) サンプリング周期： 0.005 秒（サンプリング周波数 200 Hz）
(3) データサイズ： 8K(8192)（約 40 秒）
(4) ローパスフィルタ： 100Hz
(5) トリガー： FREERUN（手動で start/stop させる）
(6) 較正係数： SLOPE（測定値加速度計ごとに異なる）
(7) 一データファイルの寸法： 2 バイト整数×8K×4 成分＝64K

複数のレコーダの同期

構造物の振動現象を記録する標準のハードウエアは、３成分一体型の加速度計と、そのデータを記録する４成分一体型レコーダおよび電源部分とで最小構成（ユニット）とする。複数の測定箇所の測定は、原則として１ユニットを持ち回って作業する。複数の測定箇所を同時測定したい場合は、複数のユニット（8 ユニット、32 成分以内）を準備すると共に、全体をパソコンで制御することができる。その方法以外に、個別のユニット単位で独立に測定作業を行い、そのタイマの記録をもとに、解析時にソフトウエア的に同期を整合させることができる。

一回の計測継続時間は最低で約 20 秒とする

橋梁は、それ自体が振動源ではなく、通過する車両などで加振される。これが振動の応答である。橋梁本体には構造的に固有振動の性質を持つが、この発現には確率的な性質があって、出たり出なかったりする。そのため、橋梁振動は、車両が橋梁に進入して通過する時間を継続して測定し、その波形を観察して有意なデータを含む時間間隔を解析に当てる。車両の速度を仮に 10m/sec(時速 36K/h)とすると、長さが 200m の橋長を通過する時間は約 20 秒である。現場では、この前後に余裕時間を足して、約 40 秒を一回の計測継続時間（測定単位）とする。この間を 0.005 秒のサンプリング周期で計測すると、8K（約 8000 個）のデータとなる。この区切りを、データをファイル化する単位とする。約 40 秒間のデータ区切りは、ファイル化の単位であって、実際の測定作業は任意の継続時間でデータが記録される。この場合、ファイルは物理的に複数得られるが、データは論理的に繋がって得られる。

解析データは元データから選択的に切り出す

解析に載せる振動データは、全体の波形を見て、解析に載せる時間間隔を決める。実践的には、一つのファイル単位（40 秒長さ）から 20 秒間を切り出して、スペクトル解析に載せる単位とする。この計算には、FFT を利用するが、解析区間を 2 の n 乗個のサンプルで扱うことに特徴がある。サンプル数の標準としては 2048 が適当である。このデータのサンプリング周期が 0.005 秒であると、解析対象は約 10 秒を取り出すことになり、少し短すぎる。そこで、解析用のデータは、元のデータ並びを一つ置きに間引いて、実質ではサンプリング周期 0.01 秒で 20 秒間（20.48 秒）のデータに変換してスペクトル解析に載せる。したがって、さかのぼって、１測定単位が 20.48 秒以下の測定長さは解析に使うデータにならない。

デジタル化される数値の精度

加速度計は、歪ゲージ式を採用する。歪ゲージは、長さの微小変化が抵抗値の微小変化に比例する性質を利用するので、測定値の最小単位をマイクロストレイン(10^{-6})で表示する。加速度計の出力は、電気的にマイクロストレイン単位で２バイトの整数型数値としてデジタル化される。この値を加速度(m/sec^2)に換算するパラメータは、②ヘッダーファイルに記録されている SLOPE である。加速度計は、その最大測定値（容量）でカタログ化されている。構造物の振動測定では $20m/sec^2$（約 2G)の容量のものを用いる。この容量に対するデジタル値が定格出力である。定格出力÷容量が SLOPE である。構造物の振動の加速度レベルは、一般的には 0.02G と低いので、定格出力が仮に 2000 であると、デジタル出力は整数値で±20 を超えない。数学的に見れば、この数値精度では滑らかな波形を表すことができないと考え易いが、時系列データとして統計処理をすることで有意な結果を求めることができる。

整数値並びのデータ構造

一つのデータファイルは、その大きさが、2 バイト整数×4 成分×8196 サンプル＝64K バイトのバイナリーファイルとして記録される。時間的に連続して記録する場合には、自動的に 64K バイト単位でファイルに区切られる。レコーダの停止ボタンで記録を停止させると、64K 未満のデータを含むファイルも作成される。デジタル化された２バイト長の整数の並びは、バイト並びを、文字データとは解釈しないで、最大値 255 の符号なし整数値の並びで考える。バイトは文字を表す単位であるので、文字並びの習慣で言えば左から右に並べるのであるが、物理的なビット構成を説明するときには右から並べる逆順で考えなければならない。そのため、２バイトを繋いで 16 ビット長さの整数を表すとき、文字並びの順で言うと、右側のバイトを相対的な上位バイト、左を下位バイトと言う。２バイトの整数型で表現できる数の範囲は（-32768,+32767）であって、負の数は２の補数表現で符号化（encode）される。負の整数の場合には、下位バイトは、整数値で言えば、128 以上の値が入る（図１参照)。

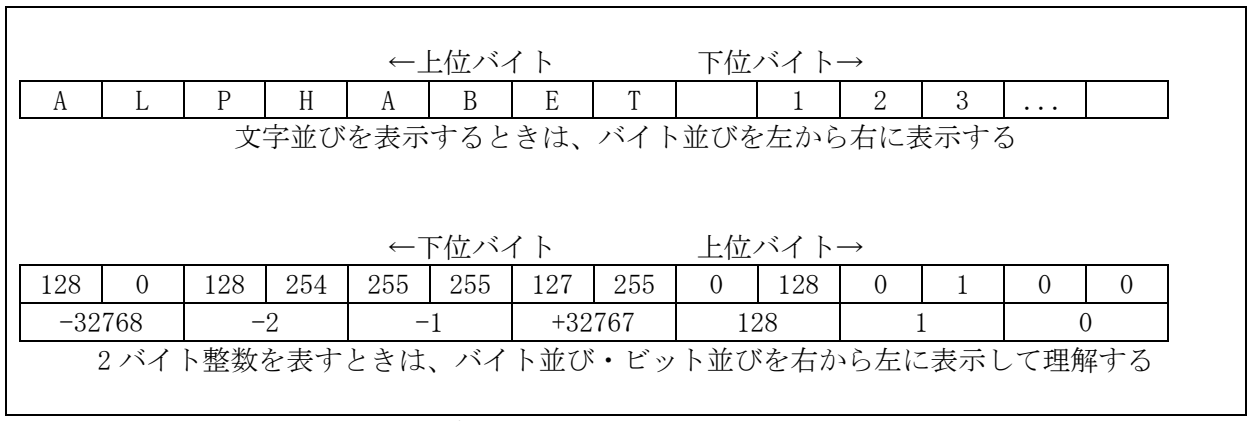

図１　データファイルのバイト並びの構造

C2.　ヘッダーファイル(*.hed)のデータ構造

データファイルの説明用ファイルである

ヘッダーファイルは単純なテキストファイルであって、下の表１のように記述される。内容確認には、単純なテキストエディタ（NotePad など）で開いて読むことができる。この内容は、データファイル書式と構造を説明するために、データファイルごとにレコーダが自動的に作成する。そのため、ファイル名はデータファイルと同じであって、拡張子が(.dat)に代えて(.hed)が使われる。このファイル名は短く、別の作業の場合にも同名が使われることになるので、一連の測定作業では、一意の名称を付けたフォルダ単位にまとめて管理する。

ファイル名の自動発行

ヘッダーファイルとデータファイルのファイル名は、英字一文字と測定単位の順に、昇順の 3 桁の数字を付けた４文字で自動発行される。3 桁の数字は、000 に始まり、255 までである。一連の測定は、256 ファイルまでであり、連続記録は 2 時間 50 分までであり、ファイルサイズは約 16M バイトになる。これ以上の記録が必要になるときは、フラッシュメモリを取りかえる。このファイル名は、ヘッダーファイルの第１行に DATASET のキーワードに続けて記述される（例は表１に示す)。英字１文字は、S,C,F の区別があるが、これは表１の行番号 19 の SINGLE, CONTINUE, FREERUN の頭文字である。

テキスト書式は、一行ごとにキーワードに続けて項目が記載される

解析作業用ファイルを作成するときは、このヘッダーファイルの内容を部分的に引き写し、数値データを利用してデータ変換を行う。ヘッダーファイルのテキストは、1 行単位で独立であって、キーワードに続けてスペースを置き、項目単位をコンマで区切った書式で書かれている。項目の区切り文字(delimiter)に、コンマとスペースとが混用されているので、後で説明する解析作業用ファイルに編集するときは、delimiter をコンマに書き換える書式変換を行う。

表１：ヘッダーファイルの記述事項（例）

行番号	テキスト	説明
1	DATASET F021	F021 がシリーズファイル名である
2	VERSION 1	
3	SERIES CH_1,CH_2,CH_3,CH_4	
4	DATE 09-21-2006	測定日
5	TIME 11:35:04	測定開始時分秒
6	RATE 200	１秒当たりのサンプリング数
7	VERT_UNITS ue,ue,ue,ue	
8	HORZ_UNITS SEC	
9	NUM_SERIES 4	
10	STORAGE_MODE INTERLACED	
11	FILE_TYPE INTEGER	DAT ファイルが整数型である
12	SLOPE 0.00861,0.008536,0.008237,1	加速度変換パラメータ
13	X_OFFSET 0	
14	Y_OFFSET 0,0,0,0	
15	NUM_SAMPS 8192	サンプル数
16	DATA	
17	RANGE 5000,5000,5000,5000	最大感度で単位はマイクロストレイン
18	FILTER PASS,PASS,PASS,PASS	
19	TRIGGER_MODE FREERUN	SINGLE, CONTINUE, FREERUN の種類がある
20	TRIGGER_SLOPE OFF,OFF,OFF,OFF	
21	TRIGGER_LEVEL ,,,	
22	PRE_AREA 0	
23	DATA_SIZE 8K	

備考：設定値は構造物の振動測定に特化した場合である

C3.　解析作業用ファイル(*.acc)の構造

解析作業用ファイルのファイル名の付け方

解析作業用ファイルの作成は、フラッシュメモリ上のヘッダーファイルとデータファイルをパソコンに取り込んで、波形をインタラクティブに観察して、約 20 秒長さの区間を選定する。この処理に利用するプログラム名は DataPreViewer である。このプログラムの目的は、１データファイルから１解析作業用ファイルを切り出すのが標準作業である。しかし、状況次第で二つ以上切り出す場合と、作業に使わない場合もある。解析作業用ファイルのファイル名は、作業上はヘッダーファイル・データファイルと同名とするのが分かり易いが、同じデータファイルから二つ以上の解説作業用ファイルを作成することもあるので、別名に付け直すのがよい。大量の測定データを管理するには、ファイル名を自動発行できるようにしておくのが便利である。このファイル名は、記録開始時分秒の文字並びを利用し、日付を表す名前を付けたフォルダの中に集約する。最初のデータファイルから、その全部を CSV 形式に変換しておいて、EXCEL 上で或る程度のデータ処理をすることも可能ではあるが、CSV ファイルの寸法が元のバイナリー形式データファイルの約５倍に膨張する。また、スペクトル解析などの特別な処理も、できない相談ではないにしても、処理手続きが煩雑になる。

テキストの書式

DataPreviewer では、データファイル全体の振動波形のグラフィックス表示（バイブログラム）と、スペクトルの時間的な変動が分かるような連続スペクトル図（ランニングスペクトル）をモニタに表示する。ハードコピーも取れるので、これをデータ管理用の書類にすることができる。このグラフを見て、詳しいスペクトル解析に載せる 20.48 秒のデータ区間を選定して、解析作業用ファイルに書き出す。そのファイルの書式はコンマ区切りのテキストファイルであって、例を表２に示す。この書式は、ファイルの拡張子を(.acc)から(.csv)変更するだけで、EXCEL でそのまま読み出して利用することができる。このテキストファイルは、Visual Basic 6.0 で作成したプログラムで読み出すことができる仕様である。一行単位での読み込みは Line Input# 文で、またコンマ区切りの項目は、対応する変数名並びを引き数とした Input# 文を使うことができる。

表２：解析作業用ファイルのデータ構造（例）

行番号	テキスト	備考
1	113504	管理番号
2	永代橋	測定対象表題
3	支間中央　垂直材の下端　A 点	副表題
4	S015	ヘッダーファイル名
5	09-21-2006	測定日
6	11:35:04.000	測定開始時分秒
7	100	１秒当たりのサンプリング数
9	2048	サンプル数
10	橋軸方向,橋軸直角方向,鉛直方向,時刻	チャンネルの説明
11	0.13776,-0.136576,-0.049422,10.31	ここから下にデータが並ぶ
12	0.11193,-0.136576,-0.041185,10.32	
13	0.11193,-0.119504,-0.032948,10.33	
14	0.12915,-0.093896,-0.024711,10.34	
15	... ...	
..	... ...	
..	... ...	

C4.　ファイル書式の補足

タイマ情報

測定データの開始は、マニュアルスタートを標準とするが、内蔵タイマの秒表示の 0.000 区切りでサンプリングを開始するように半自動トリガーで起動する。開始時刻は、時・分・秒の数値並びとしてヘッダーファイルに記録される。サンプリング周期が 0.005 秒であるとき、レコード番号に代わるタイマ値に小数以下３桁の数を用いる（表２の第 11 行以降を参照)。先頭レコードは 0.000 で始める。データファイルのサンプル数が８K であるとき、最終レコードのタイマ値は 40.955 になる。FREERUN 計測の場合、時間的に継続するレコードは、タイマ値は 40.96 から始まることになるので、ヘッダーファイルの開始時刻表示は正確な開始時刻ではなく、参考値になる。複数のユニットを使って同期測定をする場合には、個別のユニットの起動時刻は必ずしも同じにはならないので、起動時刻とタイマ値とから同時刻のデータ位置を整合させることができる。

測定日を表示する書式

測定日の表示方法は完全には統一されてはいない。例えば、09-21-2006、2006-09-21、2006 年 10 月 19 日、2006/9/21、(2006,9,21)、060921、などが混在する。最初の書式は欧米流であるが、文字並びの順が日付順と整合しない。ファイル名、フォルダ名に利用するときは、字数を節約する 060921 が適しているが、ファイル名の先頭文字は英字が望ましいので D060921 のような書式がよい。

時刻を表示する書式

時刻を表示する書式にも種々の方式が混用されるが、通常は 24 時間表示であって、例えば、08:29:05 のようにコロンで時分秒の数値を区切る。この書式は全体として文字型として扱う。ファイル名に使うときは、コロンを省いて 082945 のように続けた数字並びとするが、先頭文字が 0 であるのは望ましくないので、英字、例えば T を頭に付けて T092905 のように使う。

<--->

付録 D:

現場測定時の作業手順

D1. 作業単位

測定作業の形態は三通りあること

構造物の振動測定に特化して設定したレコーダ（超小型ひずみレコーダ DC-104R）による現場での測定作業は、レコーダ等の設定作業が済んだものとして説明する。レコーダ操作上の形態として三通りの選択肢がある。

(a) レコーダ単体で記録作業を行う
(b) レコーダをパソコンと接続し、制御と同時にパソコン上で波形のモニタリングを行う
(c) レコーダを簡易情報端末 PDA と接続し、制御と同時に波形のモニタリングを行う

最も単純な測定は(a)の場合である。しかし、波形観察をするモニタが無いので、有意にデータが得られているかどうかの確認ができない。したがって、標準としてはパソコン（ノート型）をモニタリングにする(b)の方法がよい。(c)は、パソコンに代えてポケットコンピュータを使う場合であって、ノートパソコンよりも小型の装置であるが、その分だけモニタが小画面であり、また操作性がやや劣る。

レコーダ側から見た継続測定の単位

レコーダで得られるデータ構造は、レコーダの設定で決められる。レコーダのトリガ設定が FREE RUN であるとき、操作上の作業単位は、レコーダの start から stop までである。測定継続時間は、構造物の振動測定の場合には少なくとも約 20 秒以上とし、標準として約 40 秒である。手動で start/stop させるので、任意長さの秒数で連続してデータを記録することができる。この場合でも、レコーダは、約 40 秒間のデータを物理的な単位としてファイルに区切り、256 ファイルまでを限度としてコンパクトフラッシュカードに記録される。この間の延べ時間は、最長で約２時間半である。これがレコーダ側から見た継続測定の１単位である。レコーダ及びパソコンは現場においては電池駆動であるので、電池の消耗を見込むこの時間が１単位の目安である。実際の作業では、対象構造物で複数の注目点を選んで移動し、約 40 秒単位で個別にデータを記録する。したがって、１日の作業でファイル数を 256 まで使い切ることはないとしても、測定待機の時間は電源が on となるので、測定の区切りで充電の時間を見るか、電池の交換を考慮する。測定時に電源がダウンした場合、当該のファイルの内容は保証されない。

フラッシュカードは論理的な測定の集合単位

振動データは、フラッシュカードにファイル化されて記録されるが、そのファイル名はレコーダが自動発行し、英字一字（トリガ設定が FREE RUN の場合には F）に続けて３桁の連続整数（001～255）が割り当てられる。ただし、同一ファイル名に対し、*.dat と*.hed の拡張子の対で作成される。*.dat ファイルで言えば、ファイル名は自動生成され、ファイル数が 255 を超えることが許されないので、もし対象測定点数が多くなる場合には、区切りのよい測定点数で新しいフラッシュカードに取替える。異なったフラッシュカードにも、同一ファイル名が最初から自動発行されるので、データをパソコンに移す場合にはフラッシュカード単位で別名のフォルダを作成して管理する。

データ解析上の作業単位

橋梁振動の解析に使うデータは、荷重車が橋梁を通過する時間を考慮して約 20 秒間のデータを解析に使うので、その前後に余裕を見て、約 40 秒間のデータを測定操作上の作業単位となるように記録する。この作業単位は、レコーダの start から stop までである。１単位の測定継続時間に得られるデータのサンプル数は、サンプリング速度の設定値（構造物の振動測定では 5ms）で決まる。標準として約 40 秒（サンプル数 8K=8192）であり、この長さでファイルの物理的長さが決まる。FREE RUN 設定では物理的に複数のファイルに区切られるが、論理的にはデータは連続する。ただし、解析の段階では、ファイル単位を対象とするのが便利であす。FFT 解析では 2048 サンプル数での計算効率がよいので、10 秒間に注目する解析と、40 秒間のデータから 20 秒間の区間を選び、さらにデータを一つ置きに間引いて 2048 サンプルとして解析に載せる場合とがある。

D2. 測定時の作業

測定作業は二人でペアを組むのがよい

構造物振動測定は、一人で総ての作業ができるように簡易化したシステムで構成できるが、野外での安全作業を考えて、二人でペアを組むのがよい。その分担は、一人がレコーダとパソコンの操作掛に専念し、もう一人を測定進行時の管理掛とする。操作とは、加速度計、レコーダなどの結線と設定条件の確認、電源の on/off、加速度計のバランス、動作確認のモニタリングを経て、記録のスタートとストップである。レコーダの操作場所は、測定環境全体を観察できないこともあるので、記録のスタートとストップを管理係が合図する。橋梁を例とすると、通行車両が橋に進入して通り過ぎるまでの時間を見計らって、作業単位約 40 秒間を計時し、その間に有意なデータが得られるように合図する。この用途には、簡単なタイマー時計を使うとよい。管理係の重要な作業は、測定時情報を野帳に記録することである。

野帳の書式を決めておくこと

野帳は、記録項目に漏れがないようにするため、あらかじめ、書式を印刷した用紙で準備しておくのがよい。その項目構成の一例を下に示す。

(1) 管理事項
- (1a) 計測日： 西暦年/月/日、例えば、2006/09/21
- (1b) プロジェクト名： 例えば、東京隅田川橋梁
- (1c) 管理番号： データファイルと整合させて後から記入
- (1d) 所属： 所属部局、氏名、など
- (1e) 用紙ページ： 例えば、1/5

(2) 計測番号 一連番号を記入
(3) 構造物名： 例えば、勝鬨橋のような総称名
(4) 対象構造名: 例えば、築地側アーチ橋（複数の独立した構造形式があるので）
(5) 計測位置: 具体的な計測箇所（図面と対応させて記号も併用）
(6) 計測成分 （加速度測定を前提とするが、応力測定も考慮する）
- (6a) Ch1: （橋梁測定の場合、デフォルトは橋軸方向水平動）
- (6b) Ch2: （同、デフォルトは橋軸直角方向水平動）
- (6c) Ch3: （同、デフォルトは鉛直方向）
- (6d) Ch4: 未使用（予備として）

(7) 開始時刻: 正確な時刻は記録ファイルにあるので、大体の時分でよい。
(8) 継続時間: 原則として一回 40 秒程度とするが、長く走らせる場合がある
(9) 計測状況： 例えば、ダンプカーが３台、手前車線を走行、のように
(10) 備考： ファイル名との対応に利用する（失敗の場合は付記する）

ログファイルの作成

現場での計測作業の終了後、なるべく早い時期に、レコーダのフラッシュカードの情報をパソコン側に転記する。フラッシュカードは、計測プロジェクト単位のファイル集合で用いるのが自然であるので、これをパソコン側のフォルダにそのままコピーして集約させる。その際、野帳のデータを、ログファイル(log file)に編集して、原始データ合わせて保存する。ログファイルの作成は、EXCEL を応用するとよい。フラッシュカードを最大に利用したときの原始ファイルの寸法は約 16MB である。なお、測定状況の写真は、必要最小限に抑える節度が望ましい。現代は映像情報が氾濫しているが、説明のない情報は利用できないことが多い。写真や図面は、野帳の対応する管理番号、計測番号などと対応するように留意する。デジタルカメラのファイル寸法は、そのままでは非常に多くのメモリを費消するので、不要なデータを削除し、ファイルサイズを縮小する、などの処理が望ましい。

なお、従来の振動測定は、オッシログラムが生（なま）のデータであり、それを観察して多くの情報を読取り、それから解析に入った。オッシログラムと同質のグラフを作図したものをバイブログラムと呼び、これをグラフィカルなログデータに位置づける。この作成は、解析ソフト DataPreviewer で行う。

D3.　ユーザインタフェース

ユーザインタフェースはシステムの操作法を指す

パソコンの使い方に出てくるユーザインタフェースとは、ユーザがコンピュータの制御をするために、キーボードまたはマウスを操作することによる入力と、コンピュータ側からユーザに情報を知らせるために出力されるモニタ表示との対を指す。レコーダ単体で利用する場合、入力はレコーダ前面のキースイッチ一箇所である。レコーダ側からの出力は、４つある**状態 LED** の点灯である。その意味は、測定開始前に理解しておき、予行演習などで確認しておく。操作の要点を下にまとめる。

表１：レコーダの操作と通知情報

名称	表示	内　　容
③キースイッチ	start stop	測定開始と終了時に押す。 バランス設定は、３秒長押しする。
②状態 LED	PWR	通電時は緑、電圧低下は赤に点灯
	SYNC	（複数レコーダの使用時）
	USB	（パソコンとの通信表示）
	MES	測定時は緑点灯、トリガ待ちの時は赤に点灯。

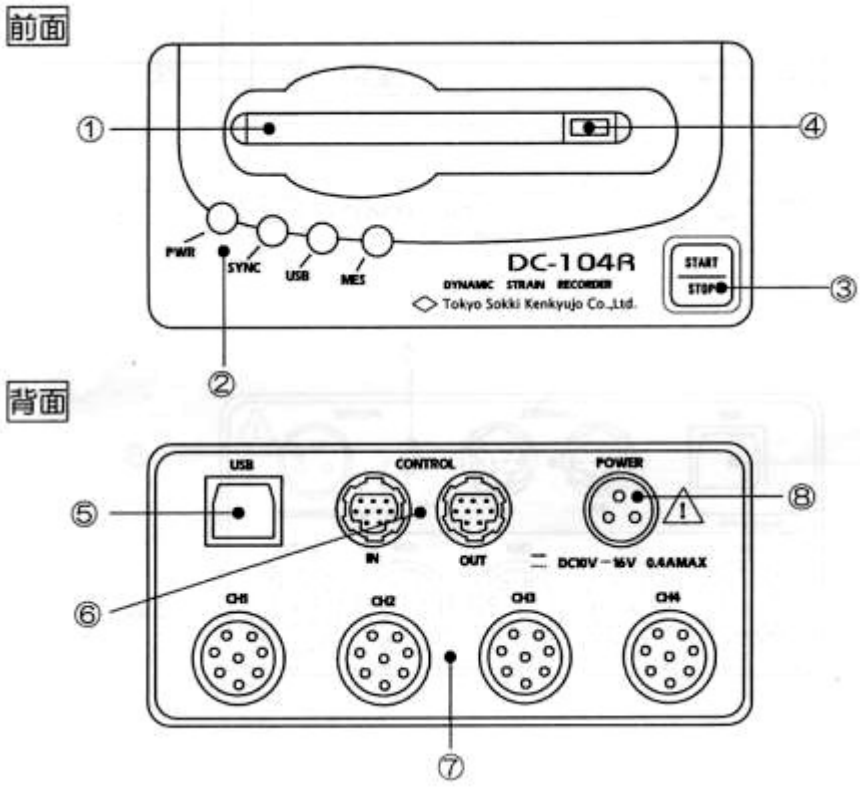

図１：超小型ひずみレコーダ DC-104R 前・背面パネル

パソコンと接続して使うとき

レコーダをパソコンにUSBケーブルで接続し､パソコン側から操作する場合は､プログラムDC7104.exeを立上げ、メインメニュー画面を表示しておく。測定時作業は、レコーダを主にツールバーのボタンをクリックすることで測定時作業を行う。メニューやボタンは賑やかに並んでいるので、不注意で関連のないボタンを押すこともある。その場合の安全対策のために、通常はキャンセルボタンが設計されている（右上の閉じるボタンはかなり危険である)。パソコンと接続することの最も便利な機能は、振動波形のモニタである。上記の表１と対応するように、測定時に操作するボタンの機能を表２にまとめる。

表２：測定時操作のボタンと通知情報

	名　　称	内　　容	
制御	⑥波形モニタボタン	波形モニタウインドウを開く	
	⑧バランスボタン	バランス	
	⑮スタートボタン	測定開始	
	⑯ストップボタン	測定終了	
状態表示	⑭ステータス LED	白	待機中
		赤	（プリトリガ）
		緑	測定時
		青	ファイル書き込み中
		黄	エラー
	波形モニタウインドウ	波形グラフの作図	

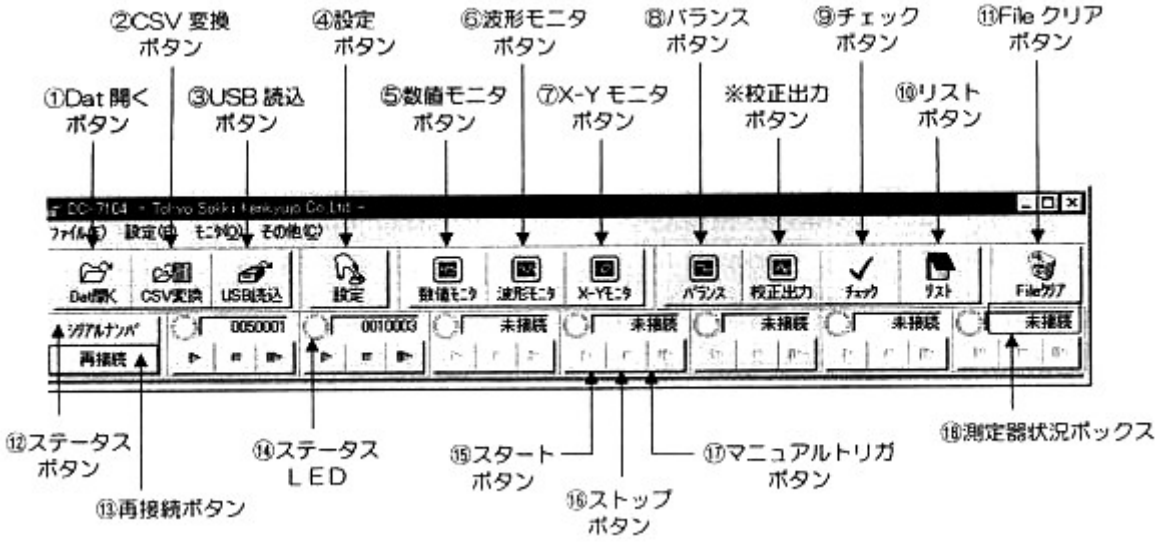

図２：DC-104R 制御用ソフト DC-7104.exe のメニュー画面

PDA と接続して使うとき（オプション）

PDA は、AC 電源しか利用できないデスクトップパソコンに代わるように、ポケットコンピュータでレコーダの設定と制御を目的としたものである。全体寸法が小さいので、キーを指で押す操作に代えて、スタイラスペンでタップする（タッチスクリーンを軽くつつく）ことで制御する。インタフェースは基本的にパソコンによるインタフェースに準じている。モニタ画面は単純化されていて、測定時に利用するのは、バランスと測定（グラフモニタ）のメニューである。測定（グラフモニタ）の画面に、Start, Stop のボタンが配置されている。

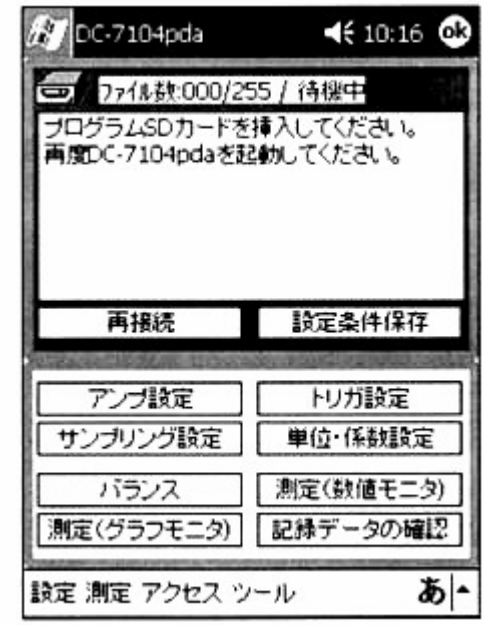

図３：簡易情報端末 PDA のメインメニューの画面

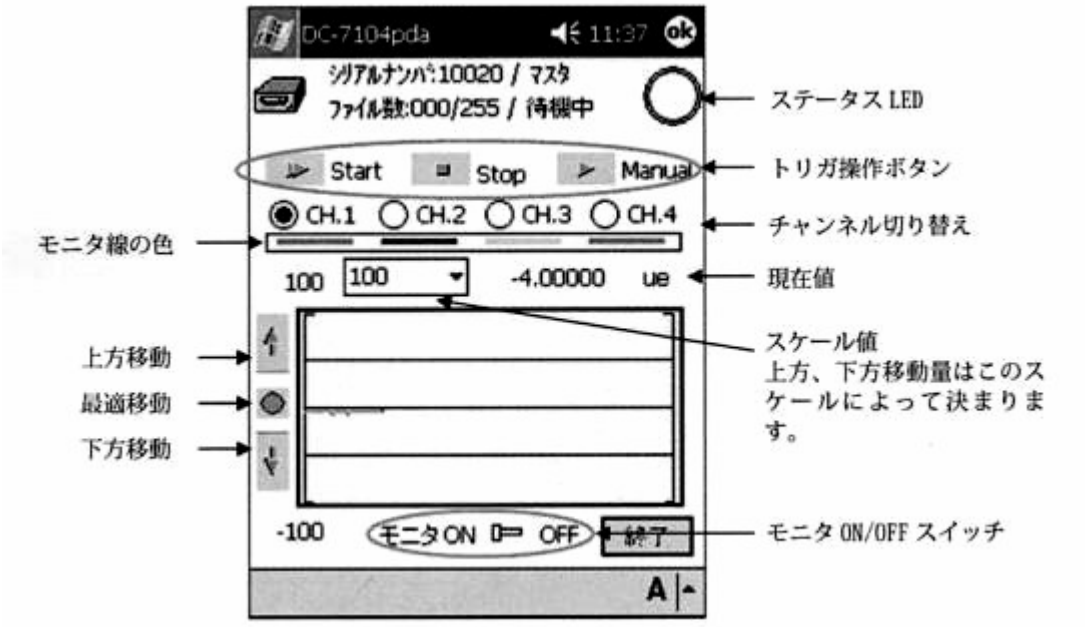

図４：測定（グラフモニタ）の画面